Lane Medical Library

Statik und Mechanik in der technischen Zahnheilkunde

unter besonderer Berücksichtigung des Stiftzahnes, der Brücken und Plattenprothesen.

I N A U G U R A L - D I S S E R T A T I O N

z u r E r l a n g u n g d e r W ü r d e e i n e s

D o c t o r m e d i c i n a e d e n t a r i a e

bei einer Hohen Medicinischen Fakultät
der Bad.Ruprecht Karls-Universität
z u H e i d e l b e r g

vorgelegt von

Hermann B i l f i n g e r

aus Ludwigshafen a.Rh.

1 9 3 0

Gedruckt mit Genehmigung der Medicinischen
Fakultät der Universität Heidelberg.

Dekan : Prof. Dr. Schmincke
Referent : Prof. Dr. Blessing

1 9 3 0

In Dankbarkeit meinen lieben Eltern gewidmet.

Die Arbeit wurde mir im Sommersemester 1928 von Herrn Prof. Dr. Georg B l e s s i n g gegeben. Es ist mir eine angenehme Pflicht, für die Anregung zur Arbeit und für die Bereitstellung der notwendigen Literatur meinem verehrten Lehrer herzlichst zu danken.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153719_0020

Disposition.

A, Einleitung.

1. Die Lehre der Mechanik und Statik.
2. Das Kiefergelenk, seine Bewegungen und die Entstehung der Kräfte in und auf dem Kiefer.
3. Einiges über den Kaudruck.

B. Hauptteil.

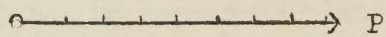
1. Statik des Stiftzahnes.
2. Brückenarbeit.
3. Versteifungsbügel.
4. Plattenprothese, gestützte Prothese.

C. Schluß.

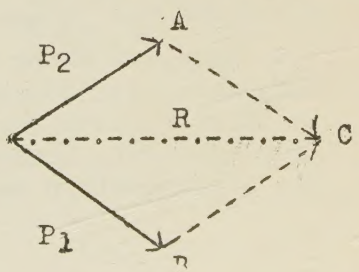
Bedeutung der Statik in der technischen Zahnheilkunde.

Die Mechanik ist die Lehre vom Gleichgewicht und der Bewegung der Körper. Die Statik behandelt den Ruhezustand eines Körpers, also die Frage nach dem Gleichgewicht desselben unter dem Einfluß auf ihn wirkender Kräfte. In der Zahnheilkunde müssen diese Lehren, um einen dauernden Erfolg zu erzielen, unbedingt beobachtet werden. Im Folgenden soll ein kurzer Umriß der Statik gegeben werden.

Um eine Kraft vollständig zu bestimmen, muß man erstens den Angriffspunkt, zweitens die Richtung der Kraft und drittens die Größe der Kräfte kennen. Bei einem vollständig starren Körper kann der Angriffspunkt in der Richtung der Kraft verschoben werden. Angriffspunkt und Richtung faßt man daher unter dem Begriff Angriffslinie zusammen. Zeichnerisch stellt man die Kraft in einer Geraden dar, die zugleich durch einen Pfeil die Kraftrichtung zeigt. Eine Einheiteneinteilung soll die Größe der Kraft angeben.

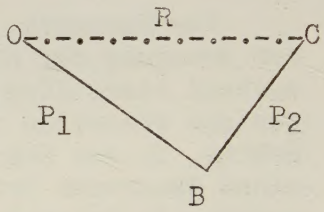


Wirken 2 Kräfte, P_1 und P_2 in einer Richtung, so ist die Gesamtkraft gleich der Summe der Einzelkräfte $P = P_1 + P_2$. Greifen an einem Punkt eines Körpers mehrere Kräfte in verschiedener Richtung an, so lassen sich diese durch eine Mittelkraft ersetzen, die man Resultierende oder Resultante nennt. Nebenstehende Figur zeigt den Punkt O, auf den die Kräfte P_1 und P_2 einwirken, die in den Strecken OA und OB in Größe und Richtung gegeben sind. Das mit diesen Seiten gezeichnete Parallelo-

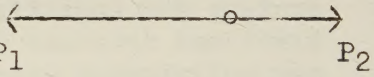


gramm nennt man das Kräfteparallelogramm. Die Diagonale OC = R ist dann die Resultante in Größen und Richtung. Sie allein bewirkt eine Kraft wie die Kräfte P_1 und P_2. Der Punkt O bewegt sich unter der Einwirkung der Kraft R in genau derselben Richtung und mit genau derselben Geschwindigkeit weiter, wie er es zuvor unter der Einwirkung der beiden Kräfte P_1 und P_2 tat.

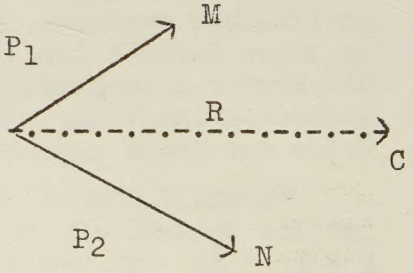
Das Parallelogramm besteht aus den beiden Dreiecken OAC und OBC, die man Kräftedreiecke nennt. Man ersieht aus ihnen, daß die Kräfte P_1 und P_2 einfach aneinandergereiht werden können und die Resultante R als Schlußlinie des Kräftedreiecks gefunden wird.



Wirken zwei Kräfte auf einen Punkt O in gleicher Richtung, aber entgegengesetzt, so ist die resultierende Kraft R gleich der Differenz der beiden Einzelkräfte. Es ergibt sich dann $R = P_1 - P_2$.

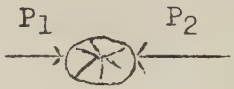


Nun kann auch die umgekehrte Aufgabe gestellt sein. Gegeben ist die Kraft R. Verlangt wird, daß diese Einzelkraft in 2 Seitenkräfte zerlegt wird, deren Richtungen OM und ON natürlich gegeben sind. Man trägt nun auf OC maßstäblich R ab und zieht zu OM und ON die Parallelen, die sich in einem Punkte A bezw. B schneiden. Mit Hilfe des Kräftemaßstabes liest man die Größen der Kräfte P_1 und P_2 ab.

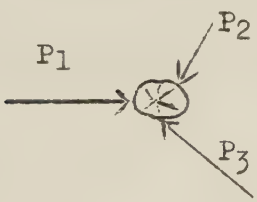


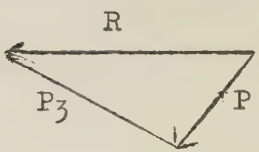
Wenn auf einen Körper zwei oder mehrere Kräfte wirken, ohne eine Bewegung hervorzurufen, so heben sie sich in ihrer Gesamtwirkung auf, d.h. sie halten sich das Gleichgewicht. Handelt es sich um zwei Kräfte, die sich das Gleichgewicht halten, so sind beide gleich groß,

liegen in einer Geraden, sind aber entgegengesetzt gerichtet. Drückt z.B. auf einen Zahn eine Kraft von 20 kg, so wird vom Zahn d.h. vom Kiefer automatisch die gleiche Gegenkraft erzeugt.



Der Zahn bleibt deshalb im Gleichgewicht, bewegt sich also nicht. Würde das Kieferfundament zu schwach sein, so käme der Zahn in Bewegung und würde in den Kiefer hineingedrückt werden. Das Gleichgewicht wäre also gestört. Desgleichen kann ein Fall eintreten, der im Kiefer öfter beobachtet wird: Das Fundament ist stark genug eine Kraft aufzunehmen, der Zahn selbst dagegen ist zu schwach, dem Druck von oben und unten standzuhalten. Eine Folge davon ist ein Zusammenbrechen dieses Zahnes. Auch in diesem Falle wäre das Gleichgewicht

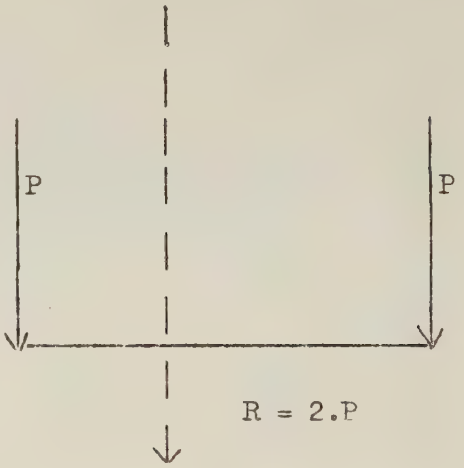




gestört. Wenn 2 Kräfte P_2 und P_3 auf einen Körper einwirken und die Kraft P_1 gesucht wird, die ihnen das Gleichgewicht hält, so ist zunächst die Resultierende R zu suchen. Hieraus ermittelt man die Gleichgewichtskraft P_1, die folgende 3 Bedingungen zu erfüllen hat: 1.) sie geht durch den Schnittpunkt von P_2 und P_3, 2.) sie ist gleich R, 3.) sie ist entgegengesetzt gerichtet. Der Körper bleibt unter der Einwirkung dieser drei Kräfte in Ruhe, jedoch erleidet er innere

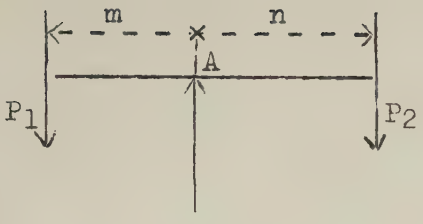
Beanspruchungen, denen er aber vermöge seiner Festigkeitseigenschaften widersteht.

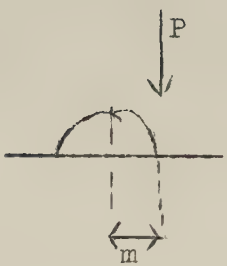
Wirken auf einen Körper mehrere Kräfte, die gleich groß und auch gleich gerichtet sind, so ist ihre Mittelkraft gleich der Summe der Einzelkräfte. Das Beispiel zeigt, daß die Mittelkraft dreier Kräfte durch ihren Schnittpunkt gehen muß. Da nun der Schnittpunkt paralleler Geraden im Unendlichen liegt, so muß auch die Mittelkraft parallel zu den beiden Kräften verlaufen. Dreht man die Pfeilrichtung von R um, so ist R gleichbedeutend mit der Gleichgewichtskraft, da sie die Wirkung der beiden Kräfte P aufheben, also Gleichgewicht herstellen würde.



Wird ein starrer Körper, der um eine feste Achse drehbar ist, von Kräften angegriffen, die ihn nach entgegengesetzter Richtung zu drehen versuchen, so nennen wir dies einen Hebel. Im einfachsten Falle sind es zwei Kräfte, Last und Kraft. Der senkrechte Abstand einer Kraft von der Drehachse oder vom Drehpunkt heißt Arm der Kraft. Wenn auf einen Körper eine Kraft P im Abstande m vom Drehpunkt oder Drehachse einwirkt, so nennt man das Produkt aus Kraft mal Kraftarm das statische Moment oder Drehmoment der Kraft. Zu einer Gleichung, in der M das Drehmoment bedeutet, ist M dann $M = P \times m$.

Je größer m und P ist, desto größer wird das den Körper beanspruchende Moment, das für die späteren Ausführungen von größter Wichtigkeit sein wird.





Das Hebelgesetz lautet: Kraft mal Kraftarm gleich Last mal Lastarm. $P_1 \times m = P_2 \times n$. Wenn die Last P_1, die gehoben werden soll, bekannt ist, läßt sich ohne weiteres P_2 berechnen. $P_2 = P_1 \times \frac{m}{n}$, da sich m und n an dem gewählten Hebel abgreifen läßt. Der Druck, der in A auf die Unterlage ausgeübt wird, muß, wie wir wissen, sein $P_3 = P_1 + P_2$. Die Gleichgewichtskraft ist also P_3 und wirkt den beiden Kräften P_1 und P_2 entgegen. Daraus ersehen wir, daß das Hebelgesetz eine Ableitung des vorhergenannten Satzes vom Drehmoment ist. Der Hebel ist dann ein Gleichgewicht, wenn das Drehmoment $P_2 \times n$ gleich P_1 mal m ist. Dies ist der Fall, wenn zum Beispiel bei einem 220 m langen Hebel m = 20 cm, n = 200 cm und die Last P_1 = 100 kg ist. Alsdann ist zum Gleichgewicht die Kraft P_2 nötig. Sie ist nach der Formel $P_2 = P_1 \times \frac{m}{n} = 100 \times \frac{20}{200} = 10$ kg.

Bevor ich nun auf die Kräfte des Kiefers und beim Kauakt übergehe, wäre der Mechanismus des Kiefers bezw. des Gelenkes, durch welche die statischen Momente hervorgerufen werden, zu erwähnen. Da alle Lebewesen mit einer Wirbelsäule symmetrisch gebaut sind, haben wir einen linken und einen rechten Kiefer, die in der Mittellinie verwachsen sind. Die beiden Kieferäste schließen also einen Winkel ein. Beim Menschen kann man das ganze als ein gleichschenkeliges Dreieck auffassen, dessen hinterste, die beiden Gelenkköpfe verbindende Seite imaginär ist. Die beiden hinteren Dreieckspunkte

werden gebildet durch die Gelenkköpfchen, der vordere trägt die Schneidezähne. Das Gelenk bildet die Verbindung des Unterkiefers mit dem Oberkiefer. Nach Chissin wird durch die Verwachsung des Meniskus in seinem ganzen Umfange mit der Gelenkkapsel das Kiefergelenk ein doppeltes Gelenk, d.h., man unterscheidet erstens ein oberes Gelenk an der Schädelbasis, das ein Gleitgelenk ist, an dessen konvexer Fläche entlang sich der Gelenkkopf mitsamt dem Meniskus verschieben kann. Zweitens unterscheidet man ein unteres Gelenk am Gelenkkopf des Unterkiefers, das ein Scharniergelenk ist, welches um das Zentrum des Kondylus in der konkaven Unterfläche des Meniskus rotieren kann. Somit ist das Kiefergelenk kein reines Scharniergelenk,d.h. um eine in einer Richtung liegende Achse drehbares Gelenk, sondern eine Kombination mit einem Kugelgelenk. Durch diese Art des Kiefers können die Bewegungen desselben in drei verschiedenen Ebenen ausgeführt werden, wobei die Bewegungen am besten an den drei Dreieckspunkten beobachtet und registriert werden können. Beim Öffnen und Schließen wird die Bewegung am vorderen Dreieckspunkte beobachtet. Dieser bewegt sich dabei in einer sagittalen Ebene, in der auch die Kurve dargestellt wird. Die Öffnungsbewegung wird nicht in Kreisform registriert, da durch den vorrückenden Gelenkkopf diese Kurve von der reinen abgedrängt wird und somit nach Tomes-Dolamore eine Knickung erfährt.

Beim Seitenbiß wird die Bewegung auf eine horizontale Ebene übertragen, die Aufzeichnung ergibt einen Spitzbogen, dessen Winkel, das Mittel, um 122° beträgt. Die Bewegungen des vorderen Dreieckspunktes beim Vorbeißen werden auf einer frontal errichteten Ebene aufgezeichnet. Beim Vorbiß gleitet der Unterkiefer nach vorne und abwärts, bis sich die Schneidekanten der oberen und unteren Schneidezähne berühren.Hätten die palatinalen Flächen der oberen Schneidezähne die gleiche Neigung zur Kauebene wie die Gelenkbahn, so könnte man also von einer sogenannten Parallelverschiebung sprechen. Meistens sind die Neigungen ungleich und dann ist dies nicht mehr der Fall. In Wirk-

lichkeit findet also beim Vorbiß eine Vorschiebung statt, welche mit einer kleinen Öffnungsbewegung kombiniert ist. Diese Öffnungsbewegung beträgt aber vorne nur die Tiefe des Überbisses der Schneidezähne und der Kondylus macht eine ähnliche Abwärts- und Vorwärtsbewegung wie beim Öffnen, wobei aber die Molaren in Berührung bleiben.

Die Bewegungen beim Öffnen und Schließen der hinteren Dreieckspunkte haben auf der sagittalen Ebene eine Neigung der Gelenkbahn zur Kauebene ergeben, deren Mittel um 35° liegt. Die Bewegung beim Seitenbiß ist keine direkte Vorwärtsbewegung des Gelenkkopfes. Bei einem Seitenbiß nach rechts wird der linke Gelenkkopf bei der Vorwärtsbewegung noch um ungefähr 15° nach einwärts bezw. der rechte Gelenkkopf nach auswärts rotiert.

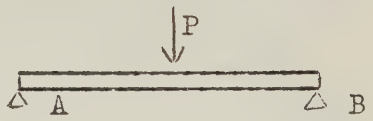
Die Bewegung der hinteren Dreieckspunkte beim Vorbiß findet wie bei der Öffnungsbewegung, nur mit etwas verminderter Bewegung im oberen Gelenk statt. Hierbei rotiert das Scharniergelenk um soviel, als die Überwindung des Überbisses der oberen Schneidezähne erfordert.

Die Untersuchungen über die Kräfte, die durch solche Bewegungen während des Kauaktes auf und in dem Kiefer entstehen, werden immer nur einen bedingten Wert haben können,denn alle Annahmen über die Muskelkräfte, die doch die Kaudrucke erzeugen, sind eben nur Annahmen. Die Kräfte selbst sind immer individuell verschieden, je nachdem die Muskeln ermüdet oder ausgeruht sind. Wenn wir wissen, daß der Kieferknochen lebendes Gewebe ist, so kommen wir besonders in der technischen Zahnheilkunde allen Forderungen, die der Kiefer stellt, mit der Anwendung der Gesetze der Statik zu recht.

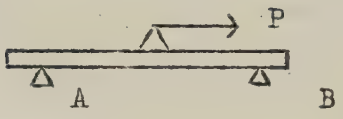
Betrachten wir zuerst den Unterkiefer und die äußeren Kräfte, die auf ihn einwirken, und infolge ihrer Einwirkung die inneren Widerstände oder Spannungen erzeugen. Wenn auf beiden Seiten gekaut wird, dann ist

der Unterkiefer an den Kaustellen und an den beiden Gelenken auf den Oberkiefer bezw. das Cranium aufgestützt und zwischen beiden Lagerstellen durch die Muskeln belastet. Jede Kieferhälfte kann somit als Träger auf zwei Stützen aufgefaßt werden.

Ist ein Träger in den Punkten A und B aufgestützt und in der Mitte belastet durch eine Last P, die senkrecht zur Trägerachse gerichtet ist, so wird die Last von dem Träger aufgenommen und auf die beiden Auflager übertragen. Läßt man nun die Last P nach dem Auflager A wandern, so bekommt das Auflager A immer mehr von der Kraft, bis schließlich die Kraftrichtung und das Auflager in einen Punkt zusammenfallen. Dann hat PA die maximale Kraft auszuhalten. Im Kiefer sind nun die Verhältnisse nicht ganz so einfach, denn der Kiefer ist nicht nur durch eine Kraft, sondern durch mehrere Kräfte belastet, die wiederum in ganz verschiedenen Richtungen verlaufen. Nach den Regeln der Statik kann jede geneigte Kraft mit Hilfe eines Kräftedreiecks in zwei beliebig gerichtete Seitenkräfte zerlegt werden; es ist also möglich, jede geneigte Muskelkraft in eine vertikale und eine horizontale Seitenkraft zu zerlegen. Weiter ist es möglich, mit Hilfe eines Kräftepolygons alle vertikalen Seitenkräfte durch eine resultierende vertikale Kraft zu ersetzen. Diese Resultierende belastet den Kiefer ebenso wie die Kraft P den Träger belastet. So können wir jetzt ohne weiteres sagen, daß durch die vertikalen Kräfte beim Kauen auf den vorderen Zähnen große Gelenk- aber kleine Kaudrucke entstehen müssen, weil der Abstand der Kraft von der Kaustelle groß, vom Gelenk aber klein ist. Beim Kauen auf den Molaren wird der Kaudruck größer, der Gelenkdruck kleiner werden.



Die Wirkung der horizontalen Komponente ist folgende: Ein Träger sei auf den Lagern A und B aufgestützt. Diese horizontale Kraft P versucht den Träger



in ihrer Richtung zu verschieben und wird in den Auflagern entsprechende horizontale Schübe erzeugen. In welcher Weise sich die Last auf die beiden Auflager verteilt, hängt davon ab, ob beide Auflager oder nur das eine gegen die Schubkraft gesichert sind oder nicht. Im ersten Fall wird sich die Kraft etwa zur Hälfte auf beide Auflager verteilen. Im zweiten Falle wird das Feste die ganze Kraft allein zu übernehmen haben. Da die horizontale Kraft in einem bestimmten Abstand über den Auflagern angreift, wird sie ein Moment erzeugen von der Größe h × x × e. Infolge dieser drehenden Wirkung wird der Träger von einem Auflager abgehoben und auf das andere gedrückt, d.h. das eine wird entlastet und das andere wird belastet.

Beim Kiefer sind horizontale Kräfte nach hinten und nach vorn vorhanden. Die nach hinten entstammen dem Temporalis, die nach vorn der Masseter-Pterygoideus-Schlinge und dem Pterygoideus externus. Die Horizontalkomponente des Temporalis greift oberhalb des Gelenkes und der Kaustelle an und ist nach dorsal gerichtet. Sie wird ein Moment erzeugen, das den Kiefer von dem Gelenk abhebt und auf die Kaustelle drückt. Im selben Sinne wirkt die unterhalb der Auflager angreifende und nach vorn gerichtete Horizontalkomponente des Masseter und Pterygoideus internus. Der Pterygoideus externus hat keinen besonderen Einfluß auf die Größe des Kaudrucks, er scheint nur als Bremse beim Zubiß zu wirken. Die Wirkung der horizontalen Kräfte muß als eine für die vorliegenden Zwecke äußerst günstige bezeichnet werden. Die horizontalen Kräfte sind in der Lage, den Kiefer nach hinten bezw. vorne zu ziehen und dadurch zerrend auf die Speison zu wirken. Infolge ihrer exzentrischen Angriffspunkte in Bezug auf die Lager und die dadurch erzeugten Momente wird der Kaudruck der vertikalen Muskelkräfte durch dieje-

nigen der horizontalen vergrößert, der Gelenkdruck dagegen vermindert. Die Verminderung des Gelenkdruckes ist insbesondere beim Kauen auf die Molaren eine ziemlich bedeutende, sie ist etwa doppelt so groß wie die entsprechende Verminderung, die beim Kauen auf den Schneidezähnen entsteht. Der gesamte Kaudruck auf den Molaren steht zu dem gesamten Kaudruck auf den Schneidezähnen in dem Verhältnis 2 : 1. Dagegen ist der gesamte Gelenkdruck beim Kauen auf den Schneidezähnen etwa das 2,5fache des Gelenkdruckes beim Kauen auf den Molaren. Bei einer ebenen Kaufläche wäre der maximale Kaudruck auf den allerletzten Molaren. Durch die Krümmung der Okklusionsflächen sowohl in der Horizontalen sowie in der Sagittalen finden Kräftezerlegungen statt, die sich darin äußern, daß der größte, senkrecht gegen die Kaufläche gerichtete Druck nicht auf den letzten, sondern auf den ersten resp. zweiten Molaren erfolgt.

Wird nur auf einer Seite gekaut, dann bildet der Unterkiefer einen Träger auf drei Stützen. Die eine Stütze wird gebildet durch die Kaustelle, die beiden anderen durch die Gelenke. Dazwischen ist der Träger belastet durch die Muskelkräfte. Berechnungen, für diesen Fall durchgeführt, zeigen, daß der Kaudruck von vorn nach hinten nicht so stark zunimmt wie bei beiderseitigem Kauen. Der Kaudruck auf den Molaren ist nur das 1,4fache des Kaudrucks auf den Schneidezähnen. Die Drucke auf den beiden Gelenken sind nur beim Kauen auf den mittleren Schneidezähnen infolge der symmetrischen Belastung gleich groß. Beim Kauen auf den Molaren sind wesentliche Unterschiede vorhanden. In dem Gelenk auf der Seite der Kaustelle wird infolge des Kippmoments der jenseitigen Muskelgruppe ein, wenn auch kleiner, negativer Gelenkdruck entstehen. Der Druck im jenseitigen Gelenk ist nahezu unabhängig von dem Lager der Kaustelle.

Da die Gelenkpfanne meist gekrümmt ist, werden die Kräfte in Seitenkräfte parallel und senkrecht zur Gelenkfläche zerlegt; die senkrechte Kraft wird als Druck erhalten, die parallele aber wird in Bewegung umgesetzt werden.

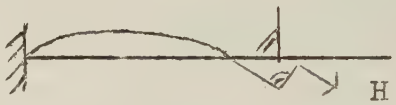
Wird ein Balken auf seine Lager aufgedrückt, so leisten die Lager nach dem Gesetz der Statik entsprechende Widerstände. Auf den Körper wirken also nicht eine, sondern es wirken drei Kräfte auf ihn ein.Diese drei Kräfte erzeugen eine Formveränderung im Sinne einer Durchbiegung. Bei ein und demselben Balken wird die Durchbiegung umso größer sein, je größer die Belastung und je größer die Entfernung der beiden Auflager ist. Unterbrechen wir einen Balken durch elastische Federn, so zeigt sich, daß bei einer Durchbiegung nach unten sich die oberen Fasern verkürzen, die unteren sich aber verlängern. Eine Verkürzung kann nur durch Druckkräfte, eine Verlängerung nur durch Zugkräfte erzeugt werden; es müssen also im oberen Teil des Balkens Druckkräfte, im unteren Teil Zugkräfte entstehen. Entsprechend der Längenänderung der einzelnen Fasern werden in den äußersten die größten Zug- bezw. Druckspannungen vorhanden sein müssen, nach der Mitte des Trägers nehmen die Spannungen ab. Nun wird hier die Durchbiegung nach oben erfolgen müssen, es wird also oben Zugspannung, unten Druckspannung entstehen. Groß sind diese Spannungen bei gleicher Muskelkontraktion beim Kauen auf den Schneidezähnen, da hier der Abstand der beiden Lager ein großer ist. Beim Kauen auf den Molaren ist die Größe der Spannung nur ungefähr ein fünftel der Spannung beim Kauen auf den Schneidezähnen. Allgemein, gleichgültig an welcher Stelle gekaut wird, sind diese Spannungen in der Nähe der Kaustelle klein, in der Nähe der Muskelansatzstellen groß.

Beim einseitigen Kauen ist die Formänderung und damit die Verteilung der Spannungen eine ganz andere. Einen Überblick über den Verlauf der Spannungen kann man sich verschaffen, wenn man sich den gekrümmten Träger auf drei Stützen durch einen geraden ersetzt denkt. Es ist ohne weiteres klar, daß in der Nähe der Kaustelle eine Krümmung nach unten, in der Nähe der Muskelansatzstellen eine solche nach oben entsteht. Dem entsprechend werden in der Nähe der Kaustelle in den unteren Längsfasern Zugspannungen, in den oberen Druckspannungen auftreten. In der Nähe der Muskelan-

satzstellen muß es umgekehrt sein; wenn also ein Prämolar nach distal wandert, dann können wir diese Wanderung sehr wohl als die Folge der Spannungen bei einseitiger Belastung auffassen, und wir sehen schon jetzt, daß die Kräfte im Kiefer sehr vielgestaltig sind, und daß dieselben Fasern bald auf Zug, bald auf Druck beansprucht werden können.

Die horizontalen Komponente erzeugen, wie wir ja schon bei der Bestimmung der Auflagerdrucke gesehen haben, ebenfalls Momente, die den Balken versuchen durchzubiegen.

Überwiegt z.B. der Einfluß der nach dorsal gerichteten Komponente des Temporalis, dann wird eine Formveränderung eintreten, wie sie das Bild zeigt; es werden oben Zug-, unten Druckspannungen entstehen und sie werden, wenigstens bei beiderseitigem Kauen, die durch die vertikalen Kräfte erzeugten Spannungen vergrößern.



Nun liegen gewiß der Masseter und der Pterygoideus internus nicht in einer vertikal ebenen Fläche, sondern der Masseter geht nach außen, Pterygoideus internus nach innen von dem Kiefer weg. Da der stärkere Masseter in einem schwächeren, der schwächere Pterygoideus internus in einem stärkeren Winkel von dem Unterkiefer ausstrahlen, dürfte diesen Seitenkräften keine wesentliche Bedeutung zukommen.

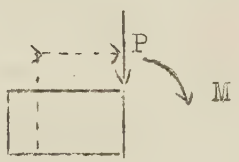
Bis jetzt haben wir als Wirkung der äußeren Kräfte nur die Durchbiegung betrachtet und die Spannungen festgestellt, die durch dieselben erzeugt werden. Betrachten wir wiederum unseren Träger, so sehen wir, daß auch noch andere Wirkungen vorhanden sein müssen. Denken wir uns einen Schnitt durch den Träger gelegt, dann sehen wir, daß auf den Teil links vom Schnitt nur der eine Auflagerdruck A von unten nach oben einwirkt; diese Kraft wird versuchen, den linken Trägerteil in

ihrer Richtung nach oben zu heben. Eine solche Verschiebung wird gehindert durch vertikale innere Widerstände, die man vertikale Schubspannungen nennt.

Die Schubspannungen in den äußeren Fasern sind gleich null, während die mittleren Fasern ihren Höchstwert erreichen. Sie sind maximal ungefähr ein viertel so groß wie die vorhin genannten Durchbiegungsspannungen. So werden auch horizontale Schubspannungen entstehen. Diese horizontalen Schubspannungen haben an jeder Stelle dieselbe Größe wie die vertikalen Schubspannungen. Während die größten Biegungsbeanspruchungen beim Kauen auf den Schneidezähnen entstehen, werden die größten Schubspannungen beim Kauen auf den Molaren auftreten, weil die Schubspannungen lediglich von der Größe der Kraft, die Biegungsbeanspruchungen dagegen von der Größe des Moments, das ist Kraft mal Hebelarm, abhängig ist.

Funktionelle Scherspannungen, wie sie entstehen, wenn zwei Kräfte nahe beieinander in entgegengesetzter Richtung wirken, wie bei einer Schere, dürften im Kiefer wohl nicht auftreten.

Da der Unterkiefer kein gerader, sondern ein gekrümmter Träger ist, da ferner die letzten Molaren nach lingual von der ideellen Ebene abweichen, dürften auch Torsionsbeanspruchungen entstehen, die beim einseitigen Kauen größer sind als beim beiderseitigen. Die nebenstehende Abbildung zeigt wiederum einen ganz einfachen Träger, bei dem exzentrisch angreifende Kräfte Momente erzeugen, die die Ursachen der Torsionsspannungen sind. Die Torsionsbeanspruchungen sind immer in den äußeren Fasern am größten. Aus der Größe der Hebelarme und vor allem auch aus der Form des Kieferquerschnittes können wir schließen, daß die Biegungs-



beanspruchungen wesentlich größer sein müssen wie die Torsionsbeanspruchungen, denn für Torsionsbeanspruchung ist kreis- oder ringförmiger Querschnitt, für Durchbiegung der Rechtsquerschnitt günstiger, da aber hier beide Beanspruchungen zusammen auftreten, ist der Querschnitt des Kiefers oval.

Die Beanspruchungen des aufsteigenden Astes werden zweifellos beeinflußt durch die unmittelbare Einwirkung der an ihm angreifenden Muskeln; im übrigen wird aber auch hier infolge der früher besprochenen Formveränderung im Vorderrand Zug, im Hinterrand Druck entstehen müssen. Der Coronoideus-Ansatz wird durch den schräg nach hinten und oben gerichteten Temporalis auf Biegung und Zug beansprucht. Im vorderen Rand summieren sich die Zugspannungen, im hinteren Rand werden die Druckspannungen infolge der Biegung vermindert um die Zugspannung der nach oben wirkenden Komponente. Es scheint, daß dadurch der Coronoideus am vorderen Rand dicker ist als am hinteren.

Der Kaudruck nimmt von vorn nach hinten um das doppelte zu, in stärkerem Maße nimmt der Gelenkdruck ab. Bei beiderseitigem Kauen ist er immer positiv, bei einseitigem Kauen auf den Molaren können im Gelenk der Kauseite kleine negative Drucke entstehen. Als Folge der äußeren Kräfte entstehen im Innern Biegungsbeanspruchungen, die in den obersten und untersten Fasern ihre Höchstwerte erreichen, außerdem entstehen horizontale und vertikale Schubspannungen und Torsionsspannungen. Die Schubspannungen sind in den mittleren Regionen, die Torsionsspannungen in den äußeren Fasern rundum am größten.

Bis jetzt haben wir den Kiefer als Ganzes betrachtet; es ist selbstverständlich, daß an den Stellen, an welchen Kräfte unmittelbar angreifen, auch noch örtliche Wirkungen erzeugt werden müssen. Die Muskeln werden an ihren Ansatzstellen in der Hauptsache Zugwirkungen erzeugen. Bei überwiegender einseitiger Wirkung können auch kleine Torsionsspannungen entstehen. Durch den Bandapparat im Paradentium wird der

Druck, der auf dem Zahn ruht, als Zugwirkung auf den Knochen um die Alveole wirken. Im allgemeinen werden die Beanspruchungen der einzelnen Fasern ziemlich gleichmäßig sein, besonders bei geschlossener Zahnreihe und günstiger Artikulation. Anders wird es sein, wenn die Zahnreihe nicht mehr vollständig oder die Artikulation gestört ist. Dann können die Kippwirkungen, die natürlich immer vorhanden sind, sich erst auswirken.

Und nun zum Oberkiefer. Auch hier werden im Alveolarrand Zugspannungen als Folge von Biegungsbeanspruchungen auftreten. Sie werden nicht so groß sein wie im Unterkiefer, weil der Oberkiefer durch den Gesamtschädel gestützt ist. Die Hauptkraft wird natürlich in der Gegend der ersten Molaren übertragen werden, geringere in der Gegend der Eck- und Frontzähne. der Gaumen ist ein Gewölbe und wird als solches auf Druck und Biegung beansprucht. Normalerweise scheint die Biegungsbeanspruchung, die hier sich als Zug nach außen auswirkt, zu überwiegen, stehen aber die Zähne mit ihren Wurzeln konvergierend, dann dürften die Druckwirkungen nach innen und oben überwiegen und oft ein Hindernis in dem Breiten- und Tiefenwachstum des Oberkiefers werden.

Den beim Bewegen des Kiefers, d.h. beim Kauen, entstehenden Druck scheiden wir am besten in einen absoluten und in einen praktischen Kaudruck. Der praktische Kaudruck ist der Druck, dem die Struktur der Zähne und die physiologische Widerstandskraft der Wurzelhaut entspricht und der zum Zerkleinern der für den Menschen in Frage kommenden Nahrung gerade genügt.Dieser praktische Kaudruck dürfte ungefähr 30-80 kg betragen. Daß er sehr schwankend ist, bringt die Individualität mit sich, d.h., er wird sich richten nach Alter, Rasse und Konstitution des Menschen. Ein Überschreiten dieser Beträge des Kaudruckes ist also ganz sicher möglich. Als absoluten Kaudruck können wir den Druck ansehen, der ohne Rücksicht auf das Zahnsystem bei besonderen Maßnahmen wie Injektion und Schienung entstehen könnte. Wenn man hierfür den Wert von 400 kg

ansetzt, so dürfte die Höhe des Betrages nicht zu hoch angesetzt sein. Außer diesen beiden Drucken entsteht noch der sogenannte Endpreßpunkt. Er entsteht beim Zuklappen des Kiefers, also ein reines Pressen, d.h. der Druck ist nicht gleich in seiner maximalen Kraft vorhanden, sondern steigert sich von Null bis etwa 90-100 kg.

Im Anschluß hieran möchte ich nun die mechanischen und statischen Verhältnisse beim künstlichen Zahnersatz erläutern und mit einem meist als Einzelzahn in Frage kommenden, dem sogenannten Stiftzahn, beginnen. Unter Stiftzahn verstehen wir jeden künstlichen Kronenersatz, sei er teilweise mit irgendeinem Metall konstruiert oder bestehe er nur einzig aus einer Porzellankrone, die mittels eines Stiftes in einer Wurzel eines Zahnes verankert ist. Die Dauer, Widerstandsfähigkeit, und die Funktion eines solchen Kronenersatzes hängt von einer Reihe mechanischer und statischer Momente ab, wobei aber auch die biologischen Verhältnisse der ihn tragenden und umgebenden Gewebe berücksichtigt werden müssen. Unter diesen Momenten spielen die Reibung zwischen Stift und Wurzel, die ganze Beschaffenheit des Stiftes, d.h. seine Dicke und Länge, eine bedeutende Rolle. Der Reibungswiderstand zwischen Wurzel und Stift ist im Wesentlichen durch die Form des Stiftes bedingt. Ist diese Reibung groß, so erhält man nicht nur eine fast völlige Unbeweglichkeit, sondern gleichzeitig findet ein regulärer Druck beider Elemente statt. Es entsteht Druck und Gegendruck, sodaß die Widerstandsfähigkeit der künstlichen Krone gegen das Zerbrechen bei stärkeren Kaubewegungen erhöht wird. Die Reibung eines solchen Stiftes hängt ab : 1.) von der Größe des Druckes, den die sich berührenden Flächen aufeinander ausüben. 2.) vom Grade der Rauhigkeit derselben und 3.) von der Größe der sich berührenden Stellen.

Die Reibung eines Körpers beim Bewegen ist proportional dem Druck, mit dem zwei Körper aufeinandergepreßt werden. Ist der Druck das 2,3 und 4fache, so ist es auch die Reibung. Je dicker also ein Stift im Ver-

gleich zum Wurzelkanal ist, desto größer wird der Gegendruck sein und damit auch die Reibung. Die Metallstifte, wie wir sie heute verwenden, müßten zur Verstärkung der Reibung mit Erhabenheiten und Vertiefungen versehen werden. Dabei ist aber sehr darauf zu achten, daß die Erhabenheiten nicht zu große Flächen erhalten, denn dann hätten umso weniger Erhabenheiten auf einem Stiftumfang Platz und der Druck könnte sich nur an wenigen Punkten vom Wurzelstift auf die Kanalwand übertragen. Das Ideal ist sehr zahlreiche in ihrer Fläche sehr kleine Erhabenheiten und dadurch ebensoviele Berührungspunkte mit der Kanalwand. Scharfe Kanten und Spitzen in rechten und spitzen Winkeln vom Stifte abstehend, müssen die Reibung erhöhen. Abgerundete, stumpfe Erhöhungen repräsentieren schiefe Ebenen von geringer Neigung. Über solche werden leichter jene anliegenden Berührungsflächen gehoben als über spitzige und scharfkantige, die sich förmlich einhakken, und deren Verschiebung nur durch starke Kompression oder starken Zug, ja bei recht genauem Ineinandergreifen vielfach erst auf Kosten einer Zerstörung der daran beteiligten Massen geschehen kann.

Die Zunahme der Reibung erfolgt in gleichem Maße mit der Vergrößerung der sich reibenden Oberflächen. Dieser Satz hat, wenn der Druck, der die Reibung bedingt, z.B. durch die Schwere bedingt wird, keine Geltung. Hier ist es nicht die Größe der Oberfläche, sondern die Masse, die auf die Druckstärke von Einfluß ist. Beim Stift im Wurzelkanal, wo die Elastizität den Druck verursacht, hat dieser für jeden einzelnen Punkt der wirksamen, d.h. sich reibenden Fläche eine bestimmte, dem Grade der Elastizität proportionale Grösse, die nur soweit von der Gesamtmasse des Stiftes abhängig ist, als mit der Vergrößerung derselben eine Vermehrung des Elastizitätsgrades verbunden ist. Die Summe des Druckes, von welcher die Größe der Reibung zwischen Wurzel und Stift abhängt, entspricht den Punkten, die die Oberfläche ausmachen. Je größer die Oberfläche ist, desto kleiner wird der spezifische Flächendruck, das ist der Druck pro qcm^2.

Was die Form des Stiftes anlangt, so soll er zylindrisch in seinem Querschnitt und oben oval sein, wodurch größtmögliche Festigkeit erzielt wird. Die Richtung, nach welcher eine Verschiebung erfolgen kann, steht in diesem Fall parallel zur Ebene der sich reibenden Flächen. Trägt der Stift Erhöhungen und Vertiefungen, so bieten diese der Bewegung und nach dieser Richtung den größten Widerstand. Je mehr hingegen die Richtung der Bewegung sich berührender Flächen eine für die Ebene der letzteren schiefe wird, desto weniger nützt das gegenseitige Ineinandergreifen der Unebenheiten. Dies ist aber bei jedem konisch geformten, spitz zulaufenden Stift der Fall, der sich in einem kegelförmigen Wurzelkanal befindet. Wenn nun der gleichmäßig dicke Stift um 1/20 oder 1/10 seiner Länge aus dem ebenfalls zylindrischen Wurzelkanal gezogen wird, so ist die Kraft, mit welcher der übrige Teil des Stiftes noch im Kanal festsitzt, nur um 1/20 oder 1/10 geringer geworden, und er hält immer noch mit 19/20 oder 9/10 seiner ursprünglichen Stärke fest. Bewegt sich dagegen der konische Stift aus dem ebenso geformten Kanal, so tritt nicht nur derjenige Verlust der Reibung ein, welcher der Größe des hinausgezogenen Teiles entspricht, sondern es wird auch an der ganzen übrigen Oberfläche des Stiftabschnittes, der noch im Kanal steckt, der Druck zwischen den beiden vermindert und in umso höherem Grade, je mehr sich die konische Form des Stiftes und Wurzelkanals von der zylindrischen entfernt, und je weiter sich der Stift aus dem Kanal bewegt hat. Einigermaßen ähnlich verhält sich ein gekrümmter Stift; wenn ein solcher in dem geraden Wurzelkanal steckt, so wird ein Druck nur an den beiden Endstellen der konkaven und an dem hervorragendsten Punkte der Stiftoberfläche vermögen, je nachdem sie nahe oder entfernt von diesen Stellen liegen, nur einen geringen oder garkeinen Druck auf die Wände des Kanals auszuüben. Dafür ist der Druck an den oben genannten, entgegengesetzten 3 Punkten der Krümmung ein viel stärkerer, als wenn derselbe Stift gerade geblieben wäre, weil an diesen Stellen der Querdurchmesser des Stiftes scheinbar vergrößert ist.

Ein solcher Stift gleicht einer gebogenen Feder, die der Kanal gerade zu strecken bestrebt ist, und die hierbei auftretende Elastizität ersetzt ohne Zweifel das, was an jener Kompression entsteht, verloren geht. Dies gilt jedoch nur solange, als der ganze Stift samt den beiden Endpunkten der Krümmung innerhalb des Kanals steckt. Ist dies nicht der Fall, hat sich derselbe nur soweit aus dem Kanal bewegt, daß der eine Endpunkt der Krümmung frei wird, dann tritt wieder, wie bei den konischen Stiften, eine viel größere Verringerung des Druckes und die durch diesen bedingte Reibung ein, als es der Länge des frei gewordenen Stückes proportional wäre, weil nunmehr die Wirkung der durch die Krümmung des Stiftes hervorgerufenen Federkraft verloren geht.

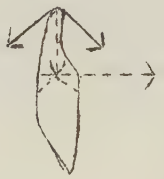
Die Theorie der Federkraft und Federspannung bei einem Stiftzahn hat man besonders bei abnehmbaren Brükken als Verankerungsmittel benützt, doch lassen die Ausschachtungsmöglichkeiten der Wurzeln insbesondere von ganz schwachen Zähnen eine große Anwendung nicht zu. Außerdem geht, wie bei allen Federn, durch den ständigen Druck die Federkraft infolge des Schwindens des Elastizitätsgrades verloren und ein Überspannen derselben führt zum baldigen Bruch.

Die Dicke des Stiftes ist nicht genau anzugeben, da sie sich in jedem Falle nach den Verhältnissen der in Frage kommenden Wurzel richten soll. Die Erfahrung lehrt uns, daß gegen die Biegung, die einzige Deformation, die ein Wurzelstift durch den Kaudruck erleiden kann, der Stift dann gesichert ist, wenn sein geringster Durchmesser 1 m/m beträgt.

Bei der Länge des Stiftes wird gefordert, daß er der Länge der Zahnkrone entsprechen soll, da man das Ganze als einen Hebel mit drei Armen ansehen kann, und das Gesetz: Kraft mal Kraftarm ist gleich Last mal Lastarm in Anwendung kommt. Ist der Kraftarm, ich nehme den Kronenarm an, groß, oder der Lastarm = die Stiftlänge, klein, so kann es sehr leicht zu einer Aushebelung des Stiftzahnes kommen. Sollte der künstliche

Zahn aber trotzdem nicht nachgeben, so sehen wir sehr häufig den Bruch des Stiftes an seinem Unterstützungspunkt, oder eine Fraktur der ihn umgebenden Wurzel.

Um den statischen Verhältnissen beim Stiftzahn im Munde gerecht zu werden, muß man auch die Basis der Ersatzkrone zur Verankerung heranziehen. Die Wurzeloberflächen müssen so beschaffen sein, daß sie den Komponenten des Kaudrucks möglichst günstig gerichtete Flächen darbieten. Bei den Frontzähnen haben wir nach Max Müller zwei Komponenten des Kaudrucks. Die eine Kraftlinie verläuft in der Richtung des Zahnes, die zweite senkrecht zu derselben. Wenn man nun die Wurzelflächen möglichst parallel zu den Komponenten des Kaudrucks stellt, so ist die Verankerung der Ersatzkrone günstig, also wenn eine plane Oberfläche besteht. In diesem Fall kann durch die Hebelwirkung die Krone leicht in ihrer Basis gelockert werden, während bei einer Parallelgestaltung der Wurzelflächen,



entsprechend der Richtung der Kaudruckkomponenten, eine Parallelverschiebung zur Oberfläche eine Lockerung der Zahnkrone bewirken könnte. Zur Abhebelung gebraucht man nur eine geringe Kraft, während die Parallelverschiebung bedeutend schwieriger ist.

In vielen Fällen wird zur Verstärkung der Verankerung zwischen Ersatzkrone und Wurzel noch ein Ring gelegt, der fest mit dem Stift durch eine Wurzelplatte verbunden ist. Für die feste Verbindung zwischen Wurzelring und Wurzelperipherie ist von Bedeutung, daß die Wurzel in möglichst weiter Ausdehnung vom Ring umspannt wird. Die Wurzeloberfläche muß also gestaltet sein, daß sie dem Ring eine möglichst breite Umfassungsfläche bietet. Damit aber die Verbindung zwischen Ersatzkrone und Wurzel nicht so sehr beansprucht wird, ist auch darauf zu achten, daß die Krone eine derartige Form erhält, daß sie von den einzelnen Kaudruckkomponen-

ten nicht zu stark getroffen wird, auf keinen Fall stärker als die noch vorhandenen Zähne. Besonders bei schwachen Wurzeln tun wir gut daran, Schneidekante und Rückenfläche so zu gestalten, daß sie beim Kauakt nicht allzusehr belastet werden.

Kurz sei auch hier noch der Statik des künstlichen Zahnes, d.h. des Porzellankörpers, gedacht. Es ist ohne weiteres klar, daß eine Vollporzellankrone, in die der Wurzelstift eingreift, nur ganz geringer Belastung widersteht, da der Stift nur ganz kurz infolge seiner Lage und sehr ungünstig zur Angriffstelle gelegen ist. Der Stift wirkt hier richtig als zweiarmiger Hebel, dessen Auflager in der Gegend der Wurzelbasis liegt. Es gebraucht nur einer geringen Kraft, um den Porzellankörper zu vernichten, denn es kommt ein zweites Gesetz der gesteinsartigen Massen in Anwendung, welches lautet, daß ein Stein schwerer zu zerdrücken ist als zu sprengen. Deshalb kann sie nur da Anwendung finden, wenn sie möglichst von der Kaukraft verschont bleibt.

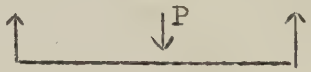
Bei den Facetten, die mit einer Rückenplatte in fester Verbindung stehen, ist die Kaukraft ebenfalls noch sehr wirksam. Die Einstiftfacette wurde bald, da der eine Stift einen guten Hebelarm für die Kaudruckkomponenten bietet, verlassen und eine Facette mit zwei Stiften konstruiert, bei welcher natürlich die Hebelverhältnisse bedeutend günstiger wurden, und dadurch ein viel kleineres Drehmoment erreicht wurde. Alle diese Porzellankörper müssen mit einer Schneideschutzkante versehen werden, die den Druck, der parallel zur Längsrichtung des Zahnes wirkt, über die Metallrückenplatte auf den Zahnstumpf übertragen. Günstiger wirkt sich dieser Druck bei der Schiebefacette aus, da die Verankerung in der Richtung der Längsachse des Zahnes liegt und so direkt einen Unterstützungspunkt bildet. Durch die Rundung des Metallzapfens ist die Aufsitzstelle sehr klein, was eine ungünstige Stelle zur Druckaufnahme bewirkt. Die Kraftkomponenten, die zu der obigen senkrecht oder in einem Winkel wirken, beanspruchen die Stifte der Facetten ebenfalls sehr

stark. Die ganze Rückenfläche muß auch hier mit Metall ausgekleidet sein, da sonst die Zugbeanspruchungen die Facetten bald zersprengen würden, was übrigens bei der Facette mit zwei Stiften weniger der Fall ist als bei der mit einem Stift. Diese Hebelwirkungen und Zugbeanspruchungen haben in der Zahnheilkunde schon sehr oft zu ganz verdrießlichen Mißerfolgen und zu weniger ästhetischen Konstruktionen geführt und deshalb war es auch immer das Bestreben, eine umgehende Besserung auf diesem Gebiete zu bringen. Dies scheint mir durch die neue Vita-Facette sowohl in statischer als auch in ästhetischer Hinsicht gegeben. Die Verankerungsweise dieser Facette schaltet einen großen Hebel aus, was dadurch zustande kommt, daß die verankernde Schiene im Innern des hartgebrannten Porzellankörpers verläuft. Die Druckkomponente in der Längsrichtung des Zahnes werden äußerst peripher durch eine breite Auflage der besonders konstruierten Schiene aufgefangen. Durch die breite Auflage wird der spezifische Flächendruck, das ist der Druck auf den cm^2, wesentlich kleiner, was hier von ganz besonderer Bedeutung ist. Auch die Kräfte, die zu diesen in einem Winkel wirken, werden durch eine möglichst große Fläche der Schiene aufgefangen und gilt hier das obengesagte ebenso. Es bliebe nun nur noch der oberste Teil des Porzellankörpers zur Hebelwirkung übrig, dieser aber ist sehr klein daran, folglich auch das Drehmoment, und kann bei der Bruchfestigkeit des eigens gebrannten Porzellans keine Bedenken geben.

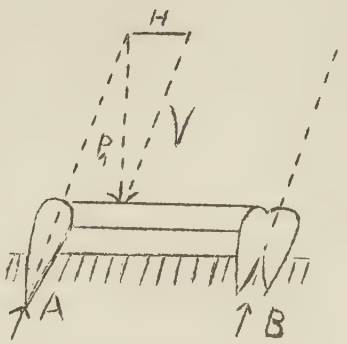
Mit der Benennung Brückenarbeit verstehen wir eine Prothese, die sich über Zahnlücken hinweg, auf zwei oder mehreren Wurzeln abgestützt, erstreckt, und die ihrerseits fest oder abnehmbar mit den Zahnstümpfen verbunden ist. Die Verbindungsteile zwischen solchen Zähnen oder Stümpfen nennt man Zwischenglieder, die Abstützungsobjekte Pfeiler.

Ein Hauptpunkt der Statik beim Bau von Brücken liegt in der Parallelität der Pfeiler, denn dadurch sind die vertikalen Komponente, sobald eine Überlastung vermieden wird und die Brücke praktisch in einer

Geraden gebaut ist, dadurch ausgeschaltet, daß sich die Druckstärke je auf die Pfeiler in gleicher Größe überträgt und das System im Gleichgewicht behält. Nebenstehendes Bild mag dies zeigen.



Auf zwei Auflager A und B, die miteinander fest verbunden sind, wirkt eine Kraft P. A und B entwickeln die Gegenwirkung in entgegengesetzter Richtung, aber parallel, sodaß sie sich im Unendlichen schneiden. Das Gleichgewicht ist somit erhalten. Stehen nun die Fundamentzähne schief, sodaß sich die Richtungen, durch ihre Längsachsen gezogen, mit der Kraft P in einem Punkt schneiden, so wird diese Kraft P von den Auflagern A und B in ihrer Richtung aufgenommen, also nur auf reinen Druck beansprucht, den sie leicht aufnehmen. Wirkt der Kaudruck P auf zwei schiefstehende, in Richtung ihrer Längsachsen parallel verlaufende Zähne ebenfalls schief, sodaß sich diese Richtungslinien im Unendlichen schneiden, so wird ihr Druck ohne weiteres von A und B aufgenommen. Wirken die Kraftkomponente P aber senkrecht zu solchen Fundamentszähnen, so kann man sie nach dem Kräftedreieck in die Kräfte H und V zerlegen. V wird ohne weiteres ohne Schaden aufgenommen. Die Kraft H aber gibt der Brücke einen Schub, d.h. sie möchte sie in diesem Falle nach rechts weiterschieben. Dies bewirkt eine Lockerung der Pfeiler im Fundament. Habe ich hier angenommen, daß die Kraft P sich gleichmäßig



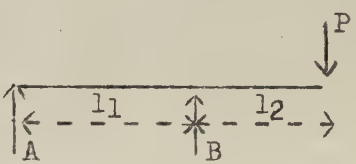
auf die Brücke verteilt, so muß auch jetzt noch des ungünstigsten Falles gedacht sein. Ich nehme an, daß der Zahn B bei einer solchen Stellung nur allein bei einem Biß eines härteren Gegenstandes getroffen werde. Infolge der Schiefstellung hat die Kraft P einen viel günstigeren Angriffspunkt, denn, denkt man sich den Drehpunkt in die Wurzelspitze von B, so wird der Hebelarm, an dem diese Kraft P angreift, umso größer, je schräger ein solcher Zahn in seinem Fundament steht. Diese Kraft bewirkt dann ein reines Kippen der Brücke, d.h. der Zahn A wird aus seinem Bett gehoben.

Dieselbe Wirkung hat die vertikale Komponente auf die sogenannten Anhängebrücken. Es ist dies eine Brükke, bei der ein Ersatzglied freiragend an nur einem Pfeiler angebracht ist, oder daß das Anhängeglied bei einer Brücke mit zwei oder mehreren Pfeilern über einen der Endpfeiler hinausragt. Im ersten Falle bezeichnet man dies in der Statik als einen eingespannten Balken, im zweiten Falle als einen Kragbalken. Drückt die vertikale Komponente bei einem eingespannten Balken im ungünstigsten Fall, den man ja immer annehmen muß, nur auf das angehängte Glied, so entsteht hier ein Drehmoment M = m × P. Dieses sucht den Zahn natürlich zu kippen, was jedoch durch die Kraft H vermindert wird. Eine Lokkerung wird aber nicht zu vermeiden sein. Je mehr nun ein solcher Zahn aus seinem Fundament heraustritt, d.h. je kleiner die Strecke n wird,

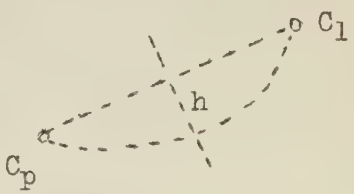
desto weniger groß kann die Gegenwirkung von der Kraft H sein.

Für den Kragbalken sei folgendes Beispiel angenommen: A und B seien die Pfeiler einer Brücke, über B

hinaus karge ein Glied aus. Wirkt nun auf dieses eine vertikale Kraft P, so kommt das Hebelgesetz Kraft mal Kraftarm gleich Last mal Lastarm zur Anwendung. Dann ist $A \times l_1 = P \times l_2$. Der Zahn A, der die Brücke nach unten ziehen muß, damit sie nicht hochschnellt, muß so bearbeitet sein, daß eine gute Verankerungsmöglichkeit vorhanden ist. Der Zahn B drückt mit einer Kraft $B = P_2 + A$ nach oben, um die Brücke im Gleichgewicht zu halten. Dennoch wird bei einer großen Kraft P auf das Anhängeglied allein eine Kippung, zumindest eine Lockerung, nicht auszuschließen sein. Ein weiterer gefährlicher Punkt für diese Kraft bietet der Übergang von dem Zahn B zum Anhängeglied. Ein Bruch an dieser Stelle kann als natürliche Folge angesehen werden.



Eine weitere Forderung der vertikalen Komponente ist der Bau einer Brücke in einer Geraden, d.h. einer Geraden in der Horizontalebene, also nicht dem natürlichen Zahnbogen folgend. Da dies besonders schwer im Frontzahngebiet, weil hier der Zahnbogen seine größte Krümmung hat, zu erreichen ist, sei das Beispiel einer Brücke von Eckzahn zu Eckzahn herausgegriffen. Die Vertikalkraft hat hier wieder einen günstigen Angriff, da sie sich als reine Hebelwirkung erweist. Die Unterstützungspunkte des Hebelarms liegen in den Schwerpunkten der beiden Eckzähne. Die Länge des Hebels erhält man, wenn man



auf die Verbindungslinie von Eckzahn zu Eckzahn die Mittelsenkrechte fällt. Die Strecke vom Schnittpunkt der Mittelsenkrechten mit der Verbindungslinie der beiden Eckzähne bis zur Frontebene ist die Länge des Hebelarms. Die Größe der Hebelwirkung ist gleich dem Produkt aus der Vertikalkraft und der Hebellänge, woraus folgt, daß diese Hebelwirkung umso größer wird, je kleiner der Krümmungshalbmesser des Brückenbogens ist.

Die Wirkung der sagittalen Komponente, die weniger wegen ihrer absoluten Größe gefährlich sind als dadurch, daß sie an der Kaufläche angreifen und die Brücke in ihrer Ebene zu kippen versuchen, wird, sobald es sich um eine Brücke im Bereiche der Molaren zu den Eckzähnen handelt, durch die große Spannweite leichter kompensiert, als bei kleiner Spannweite, was jedoch ungünstiger bei senkrechter Belastung bei Wirkung der transversalen Komponente ist. Die sagittale Komponente sei S genannt (siehe Figurentafel am Schluß der Arbeit, Fig. 1). Bei einer Brücke im obengenannten Gebiet ruft die sagittale Komponente an beiden Pfeilern einen Zug und einen Druck hervor. Sie drückt den Eckzahnpfeiler in die Alveole hinein und zieht gleichzeitig den Molarenpfeiler heraus; bei entgegengesetzter Richtung von S eben umgekehrt. Der so hervorgerufene Zug und Druck ist gleich groß, aber mit entgegengesetzten Vorzeichen plus und minus. Die Größe des Zuges resp. des Druckes ist gleich der Kraft s multipliziert mit der Höhe h dividiert durch l, wenn h die Entfernung der Kaufläche bis zur Wurzelspitze und l die Spannweite, d.h. die Entfernung der beiden Pfeiler ist. Der Schub wird aufgenommen durch die Alveolenwände. Bei gleicher Festigkeit dieser Wände verteilt er sich zur Hälfte $\frac{S}{2}$ auf beide Pfeiler. Etwas anders wird diese sagittale Komponente, wenn es sich um eine Frontzahnbrücke z.B. von Eckzahn zu Eckzahn handelt. Bei der im natürlichen Zahnbogen gebauten Brücke bekommt man eine reine Kippwirkung nach außen, die umso größer wird, je kleiner der Durchmesser des Bogens ist. Ist eine solche Brücke in einer Geraden gebaut, so tritt

diese Wirkung garnicht in Erscheinung, sondern es stellt sich eine reine, auf die Pfeiler vorwärtsdrängende Bewegung ein. Durch eine möglichst geringe Überbißhöhe und eine Vermehrung der Brückenpfeiler kann diese Reaktion bedeutend angeschwächt werden.

Die transversale Komponente ist für die gerade Brücke, die sich von der Molarengegend zum Eckzahn erstreckt, umso stärker wirkend, je größer sich die Angriffslinie erweist, d.h. je größer die Spannweite zwischen den Pfeilern der Brücke ist. Da diese Kräfte in Höhe der Kauflächen angreifen, suchen sie nicht nur die Brückenwand nach außen oder innen zu verschieben, sondern auch um eine Achse zu kippen, die im ungünstigsten Falle durch die Wurzelspitzen der Brückenpfeiler geht. Die im Zahnbogen gebaute Brücke, die z.B. von Eckzahn zu Eckzahn sich erstreckt, bietet einen immer mehr ungünstigeren Fall, je kleiner der Radius des Zahnbogens ist. Die transversale Komponente hat in diesem Falle eine bedeutend größere Angriffslinie, wodurch die Brücke beim Seitenbiß entsprechend zu kippen versucht wird. Da die beiden Eckzähne immer sich gegenseitig abstützen, so wird es weniger zu einer Kippung kommen, sondern zu einer beträchtlichen Lockerung der Pfeilerzähne.

Die Wirkungen der verschiedenen Komponenten sind für die Konstruktion von Brücken ungünstiger, je mehr Zahnlücken im Gebiß bestehen. Durch das Fehlen von Zähnen bildet die Zahnreihe kein harmonisches Ganzes mehr, und die Drucke, die dann wie auf ein Gewölbe, dem einzelne Bausteine fehlen, wirken, müssen den noch restlichen Teil bedeutend weiter zerstören. Dem vorzubeugen und einigermaßen wieder natürliche Verhältnisse zu schaffen, dient uns heute der Versteifungs- oder Transversalbügel, für den besonders Riechelmann und Rumpel einen großen Verdienst sich erworben haben. Im Folgenden soll die statische Seite dieses Bügels betrachtet werden.

Um vor allen Dingen der Intensität des Kaudrucks Rechnung zu tragen, müssen wir die Anwendung des Bü-

gels auf das Molaren- und Prämolarengebiet beschränken, denn bekanntlich ist nach den Hebelgesetzen folgend, in diesem Bereich die Kraftwirkung doppelt so groß als im Frontzahngebiet. Weit wichtiger für den Bügel ist die Wirkung der einzelnen Kraftkomponenten in ihren verschiedenen Richtungen.

Die parallel zu den Längsachsen der Pfeiler wirkende Kraftkomponente V (siehe Figurentafel am Schluß der Arbeit, Fig. 2) kann meist ohne Bedenken von einer Brücke aufgenommen werden, obgleich das 2 1/2fache der normalen vertikalen Belastung eines Zahnes wohl die Grenze seiner Tragfähigkeit unter günstigen Bedingungen darstellen mag. Ist nun eine Brücke durch einen Bügel mit den beiden Pfeilerzähnen verbunden, so kann dieses Gebilde statisch als ein Rahmen aufgefaßt werden, in dem die Brücke den Querriegel und die Pfeiler die Pforten darstellen. Denken wir uns in Fig. 2 die Brükke im Punkt A durch die Kraftkomponente V belastet, so verteilt sich die Belastung jeweils proportional ihrem Abstand vom anderen Pfeiler. Die in den Längsachsen der Brückenpfeiler hervorgerufenen Drucke sind demnach $V \times \frac{a}{l}$ im einen und $V \times \frac{b}{l}$ im anderen Pfeiler, welche vom Periodontium der Alveole aufgenommen werden.

Durch Anbringung eines Versteifungsbügels wird bei einer Brücke, die sich im Molarengebiet ausdehnt, eine Entlastung auch insofern erzielt, als der Druck und Schub, der durch diese Komponente entsteht, auf beide Kieferseiten gleichmäßig verteilt wird. Die Befestigung des Bügels wird sich auf das letzte Mittel des Brückenabschnittes, genau wie bei der Betrachtung der vertikalen Komponente, beschränken. Handelt es sich um eine Brücke, die vom letzten Molaren in das Frontzahngebiet übergeht, so muß man infolge der Drehwirkung der sagittalen Komponenten an den Frontzähnen den Bügel zumindest in die Mitte oder in das vordere Drittel der Brücke verlegen, da die Molaren in diesem Falle zum Drehpunkt werden. Selbst bei richtiger Lage des Bügels wird sich theoretisch ein Bilden eines Hebelarms niemals ausschalten lassen, was aber praktisch den günstigsten Fall bietet.

Am meisten Erfolg hat der Versteifungsbügel im Oberkiefer für die transversale Komponente in ein und derselben Zeit, wie es ja auch beim Kauen tatsächlich der Fall ist. Die Kippachse, die im ungünstigsten Fall durch die Wurzelspitzen verläuft, wird bei Anlegung eines Bügels, wenn er in der Höhe der Kauflächen ansetzt, in die Mitte zwischen Wurzelspitzen und Kauflächen verlegt, d.h. der Hebelarm, der vorher die Länge l hatte, hat sich zumindest auf $\frac{h}{2}$ verkürzt. Die Pfeiler haben natürlich dadurch bedeutend an Stabilität gewonnen.

Da die Kaukraft K in jedem Augenblick in wechselnder Stärke und Richtung auftritt, sollen, nachdem die einzelnen Wirkungen der Komponenten V S T untersucht sind, die Belastungen auf den einzelnen Pfeilern im ganzen genommen festgestellt werden. Als Beispiel sei wieder eine Brücke im Oberkiefer vom zweiten linken Molaren zum linken Eckzahn zu beiden Seiten angenommen. Der Eckzahn erhält einen Druck von $- V \times \frac{a}{l}$ durch die vertikale Komponente, durch die sagittale Komponente S einen Druck von $- S \times \frac{h}{l}$ und einen Schub von $\frac{S}{2}$. Die transversale Komponente belastet den Zahn lediglich durch einen Schub von $T \times \frac{a}{l}$. Da nun a kleiner ist als l, so ergibt sich hieraus, daß nur ein Druckteil von V und T den Eckzahn belastet, während der übrige Teil den Molaren 1.o belastet. Seine größte Belastung erfährt C 1.o , wenn der Kaudruck direkt auf ihn wirkt, da dann nicht nur die ganze Komponente V, sondern auch der Wert $V \times \frac{h}{l}$ infolge der sagittalen Komponente wirken muß. Ebenfalls muß er die ganze transversale Komponente T aufnehmen, da ja o Null wird. Dasselbe gilt auch für den Eckzahn der anderen Seite, sofern er nur belastet wird. Bei den Molaren liegen die Verhältnisse so, daß die vertikale Reaktion $- V \times \frac{b}{l} - V \times \frac{h}{l}$ und $- V \times \frac{b}{l}$ sich addieren können, wenn T nach außen und S in mesiodistaler Richtung wirkt. Die Schübe infolge T und S werden durch die Brücke resp. durch den Transversalbügel auf den gegenüberliegenden Molaren und Eckzahn je zur Hälfte verteilt.

Sucht man sich einen anderen Belastungsfall heraus

derart, daß 1 o 7 vornehmlich von V und S mesiodistal getroffen wird, so muß am Eckzahn 1 o der Zug $S \times \frac{h}{T}$ auftreten. Nehmen wir für diesen Fall an, daß die Stützpunkte nicht starr wären, so würde der Eckzahn herausgehoben und der Molar hineingedrückt werden, wodurch eine Verdrehung der Brücke in einer Ebene stattfände. Durch die feste Verbindung müßte auch die andere Seite dieselbe Drehung ausführen so, daß also hierdurch die eine Brückenseite durch die andere vermittels des Bügels gegen eine Verdrehung in ihrer Ebene infolge sagittaler Kräfte, gehalten wird.

Einen schönen Fall, welchen Nutzen der Versteifungsbügel gibt, zeigen zwei Brücken, die eine vom Caninus oben zum dritten Molaren auf der linken Seite, die andere auf der rechten Kieferseite vom Caninus frei auskragend zur Molarengegend, ohne dortselbst einen Stützpunkt zu haben. Betrachten wir auch hier wieder die drei Komponenten allein: Die Kraft V in vertikaler Richtung findet einen Hebelarm in der Länge von Mitte des Eckzahnes bis zum Ende der Brücke. Die natürliche Folge ist hier ein Kippmoment in distaler Richtung, das umso stärker wird, je länger das auskragende Stück ist. Dieses Moment wird durch den Bügel, wenn er am Ende der Brücke einmündet, zur Hälfte auf die andere gegenüberliegende Brücke übertragen. Der Bügel muß natürlich am Ende angebracht sein, da der Hebelarm in der ganzen Länge dadurch abgestützt wird und nicht nur teilweise.

Die sagittale Komponente S, die durch den Zug den auskragenden Brückenteil zu heben bezw. zu senken sucht, je nachdem ob es ein Vorschieben oder Zurückschieben des Bisses ist. Der Caninus wird hier, wie in allen Fällen, der Drehpunkt bleiben. Auch diese Wirkung wird auf die gegenüberliegende Brücke übertragen und zum großen Teil an ihrer Wirkung gehindert.

Die Reaktion der transversalen Komponente sucht die Brücke, je nachdem ob links oder rechts Biß, entweder nach bukkal oder palatinal zu drehen, denn hier haben wir den gleichen Fall wie bei der vertikalen Kom-

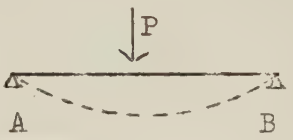
ponente, nur in einer anderen Ebene. Ein solcher Stützpunkt würde sich durch die Wirkung aller dieser Komponente in kürzester Zeit lockern lassen, was jedoch zum größten Teil verhindert wird, wenn durch den Bügel das ganze Gebilde als ein starres System zu betrachten ist.

Das gleiche Verhältnis finden wir im Unterkiefer, jedoch mit dem Unterschied, daß der Bügel nach dem anatomischen Bilde des Unterkiefers gebaut ist, also nicht eine direkte Verbindung wie im Oberkiefer darstellt, sondern in der Umgehung der Zunge im Verlauf des Unterkieferknochens geführt werden muß.

Hieran anschließend möchte ich auch noch kurz über den sogenannten Umgehungsbügel einige Worte bringen. Seine Aufgabe ist, von einem festen Stützpunkt aus, einen Zahn zu umgehen und eine an diesen anschließende Zahnlücke durch eine Facette auszufüllen. Der Bügel soll dabei nicht auf dem zu umgehenden Zahn aufliegen, aus Gründen, die ich hier nicht näher erläutern möchte, sondern soll sich eng an die Schleimhaut anlegen. Dieser Bügel leistet uns natürlich nur dann einen Nutzen, wenn er als absolut starr angesehen werden kann. Was die Statik bei diesem Bügel betrifft, so kann man sie gut mit den Verhältnissen einer Brükke mit Anhänger vergleichen, wobei wir es mit einem viel größeren, frei ausragenden Hebel zu tun haben, da der Bügel selbst schon den Hebelarm bildet. Da ein solches Gebilde für die Wirkungen der Kaukomponenten ein gutes Angriffsfeld bietet, wäre nur in äußersten Fällen dazu zu raten, wenn eine andere Verankerung nicht möglich sein sollte. Bei einer Anwendung muß der Bügel eine gute Verankerung in den Stützpfeilern bekommen, und außerdem muß der Ersatzzahn eine gleichmäßige Belastung haben. Eine bessere Möglichkeit haben wir, wenn der Umgehungsbügel von einem Stützpfeiler ausgeht, einen Zahn umgeht, dann in eine Brücke einmündet, von hier wiederum ein Bügel einen Zahn umläuft und auf einem Stützpfeiler endet. Hier sind die statischen Momente gut ausgeglichen und das Mittelstück der Brücke erhält eine gute Versteifung, da Wirkungen aller Kom-

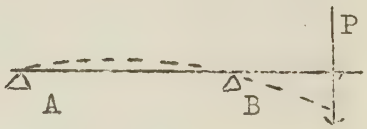
ponenten auf die Pfeilerzähne übertragen werden.

Bei der Konstruktion einer Brücke soll die Festigkeit des Materials, da man immer mit Lotstellen rechnen muß, stets mit in Betracht gezogen werden. Unter Festigkeit versteht man die innere Widerstandskraft gegenüber von außen einwirkender Kräfte. Sie ist je nach Material und Form des Körpers verschieden, d.h. sie hängt ab von dem Elastizitätsmodul und vom Querschnitt des Körpers. Der Elastizitätsmodul ist diejenige Belastung, die einen Draht von 1 mm^2 um seine eigene Länge imstande ist zu verlängern. Wirkt eine Kraft P auf einen Balken, der auf zwei Stützpunkten liegt, so kann man beobachten, daß sich derselbe durchbiegt. In der Abbildung zeigt sich die gestrichelte Linie als die Durchbiegungslinie. Die Linie gibt einen Anhaltspunkt über die Dimension des Balkens, d.h. die Wahl des Querschnittes an.



In der Brückenmitte ist die gefährlichste Stelle zum Bruch, da natürlich hier die größte Durchbiegung stattfindet. Es wäre grundsätzlich falsch, eine Brücke zu bauen, bei der der Querschnitt an den Pfeilern größer wäre anstatt in der Mitte. Ist man gezwungen, zwecks Modellierung der Kauflächen den Balken oben gewölbt zu halten, so muß er die gleiche Gestalt an seiner unteren Fläche haben, um nicht seine Festigkeit einzubüßen.

Wird ein Kragbalken am Ende durch eine Kraft P belastet, so wird er bei der Überbelastung am Auflager B brechen. Die gestrichelte Linie ist wiederum die Durchbiegungslinie. Daraus ersieht man, daß der Balkenquerschnitt über B stark genug gewählt werden muß, um die Beanspruchungen, die sich hier als innere Kräfte des Balkens auswirken, aufzunehmen.

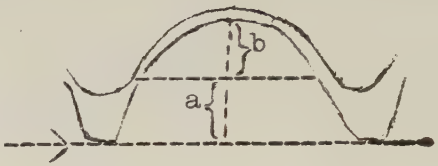


Kräfte, die einen Balken durchbiegen, üben auf ihn ein Biegungsmoment aus. Wie schon eben gesagt, muß der Balken einen gewissen Querschnitt haben, um diesen Kräften widerstehen zu können. Diese Eigenschaft nennt man Widerstandsmoment. Es ist abhängig vom Querschnitt des Balkens, und zwar bei einem Rechteck von seiner Höhe und Breite. Ein Beispiel erläutert dies ganz klar. Legt man einen rechteckigen Körper mit seiner Flachseite auf zwei Auflager links und rechts, so kann man ihn leicht zerbrechen. Legt man ihn dagegen hochkant, so genügt erst ein Vielfaches der ersten Belastung, einen Bruch herbeizuführen. Der beste Querschnitt im Munde ist daher der ovale Querschnitt, denn er ist die Vermittlung des Kreis- und Rechteckquerschnittes. Für den ovalen Querschnitt spricht auch noch die Tatsache, daß im Munde die vertikalen Kräfte die größeren und die horizontalen Kräfte die kleineren sind. Das Verhältnis stellt sich etwa wie 4 : 1. Demnach müßte die Höhe eben viermal größer sein als die Breite.

Als Plattenprothese bezeichnet man einen Ersatz, der mit seiner ganzen Fläche breit auf der Schleimhaut der Kiefer aufliegt und durch irgendwelche Wurzeln keinen Kontakt in dem Kieferknochen hat. Die Statik oder vielmehr die Mechanik einer solchen Prothese spiegelt sich für einen solchen Ersatz vor allem in der Artikulation wieder, ein Problem, auf das ich in meiner Arbeit nicht eingehen möchte, da ich mich vielmehr mit der Statik von Stützpfeilern der zahnärztlichen Prothetik befassen möchte.

Durch die breite Auflage einer Platte auf der Schleimhaut, wie sie uns z.B. ein totaler Plattenersatz zeigt, wird an und für sich für die Komponenten im Kaudruck eine günstige statische Auswirkung erzielt. Die vertikale Kaudruckkomponente hat stets das Bestreben, die Prothese fest gegen die Schleimhaut zu drükken, was eine gute Verankerung ermöglichen läßt. Für die sagittale und transversale Komponente ist im Oberkiefer die anatomische Form des Kiefers ausschlaggebend. Für beide Komponente haben wir die Kräftewirkung

in einem Gewölbe, welches eben für alle Kräfte genügend Widerstand zu bieten vermag. Die nebenstehende Abbildung zeigt uns, daß die Kippachse oder besser der Hebelarm, um den die Platte gekippt werden müßte, sich verhält wie die Höhe des künstlichen Alveolarsatzes zur Höhe des Gaumens. Bei physiologischen Verhältnissen kann man diese Gleichung als gut 1 : 2 bezeichnen; in diesem Falle a : b = 2 : 1. Anders und ungünstiger wird dies bei mehr flachen Gaumen, denn hier nähert sich das Resultat dieser Gleichung immer mehr dem Wert 1. Wird das Gaumengewölbe aber zu hoch, so treten immer ungünstige Bedingungen ein. Die Saugbarkeit, d.h. die Adhäsion der Schleimhaut läßt hier bedeutend nach. Das Ganze wirkt sich aus wie ein Keil. Wird dieser nämlich etwas aus seinem Lager durch irgendeine Kraft herausgeschoben, so ist die Verankerung, genau wie es beim konischen Stift des Stiftzahnes der Fall ist, verloren. Eine natürliche Verankerung ist hier nicht mehr in günstigem Sinne gegeben, wodurch wir gezwungen sind, zu anderen Mitteln zu greifen. Mit der Verkleinerung der Platte, d.h. schon bei partiellem Ersatz, treten andere Verhältnisse auf, die Verankerung und das Festsitzen auf der Schleimhaut wird hier um ein beträchtliches Maß verkleinert. Ist die Platte selbst verkleinert, reicht die Kraft der vertikalen Komponente nicht mehr aus, die Platte festzuhalten, da die Fläche, mit welcher sich die Prothese an der Schleimhaut festsaugen konnte, in gleichem Masse fehlt. Außerdem verliert die Platte zum Teil ihre innere Widerstandskraft. Um ein Abkippen zu vermeiden, werden nach Beispielen von Turmer sogenannte Ausleger angebracht, die die Platte auf den Kieferkämmen oder am Zahnbogen ausbalancieren sollen. Ihre Aufgabe könnte natürlich nur sein, einer Abstützung gegen transversale Kräfte zu dienen. Eine andere Abstützungsmöglichkeit und Kompensation der Kaudruckwirkung sind die

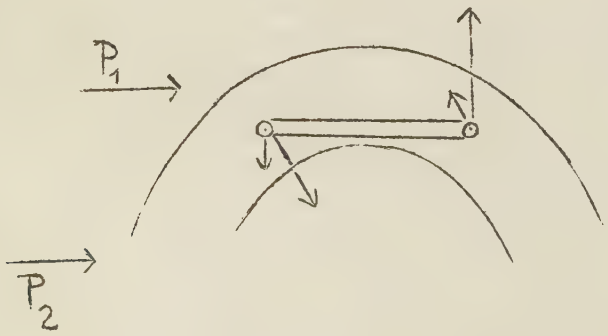


auf den Lingualflächen der Zähne verlaufenden Klammern. Die vertikale Kraftentlastung ist aber hierdurch nicht genügend gegeben, da man immer mit einem Biegungsmoment solcher Klammern an den Haltezähnen rechnen muß. Die Haltezähne erhalten eine Mehrbelastung. Diese suchte man mit Einführung von Geschieben, des Roachgeschiebes, wieder zu entlasten. Die vertikale Komponente ist bei diesem Geschiebe ziemlich auf den Prothesenteil beschränkt, doch wird sich eine kleine Hebelwirkung nicht ganz ausschalten lassen, wodurch eben doch an den Haltezähnen eine Kippung verursacht wird. Eine bessere Entlastung ergibt sich, wenn das Geschiebe durch eine zirkuläre Versteifung mit mehreren Zähnen verbunden ist. Gegen die sagittale und transversale Komponente ist eine Entlastung gegeben, wenn sich das Material als genügend starr erweist, um diesen Kräften standzuhalten. Was die Anlage von Klammern betrifft, so führt man sie heute nach Schröder von den Stützpunkten an der Peripherie der Kaufläche aus möglichst schmal über die Seitenflächen des Zahnes, sodaß sie den größten Teil der Kronenlänge als auch einen größten Teil der Kronenhöhe übergreifen. Dadurch ist eine Kippentlastung in vertikaler und sagittaler Richtung erreicht. Durch Anbringung eines Geschiebes kommen wir nun immer mehr zu einer Kombination zwischen einer festsitzenden Prothese, die die Stützpunkte bildet, und einer abnehmbaren Prothese, zur sogenannten halbphysiologischen gestützten Prothese.

Durch die zirkuläre Versteifung, d.h. durch die starre Verankerung der noch erhaltenen Wurzeln oder Zahnstümpfen findet eine Kompensation der vertikalen Druckkomponente statt. Die Wirkung der vertikalen Kaukraft äußert sich im Gebiet der Pfeiler als Druck in der Längsrichtung der Wurzeln, die in dieser Richtung auf ein Vielfaches ihrer normalen Leistung beansprucht werden können. Die vertikale Kaukraft im Prämolaren- und Molarengebiet und bei stark ausgeprägtem Frontzahnbogen in der Gegend der beiden mittleren Schneidezähne können ein Kippen der Prothese um die Unterstützungspunkte, also dessen Verbindungssteg zwischen den

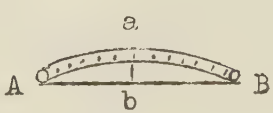
beiden Eckzähnen herbeiführen. Bei der Klammerprothese werden die Eckzähne mit dem Schwinden des Alveolarfortsatzes durch den Druck nach distal losgehebelt. Die Prothese selbst wird durch den Kaudruck zwischen die beiden Eckzähne als Keil hochgetrieben. Ein solches Abrücken der gestützten Prothese mit den unangenehmen Nebenwirkungen ist unmöglich. Die Kippwirkung nach distal durch den vertikalen Druck im Molarengebiet und durch die sagittale Kaudruckkomponente ist dann ausgeschaltet, wenn die Platte gleichsam wie eine Tür in der Angel um den Verbindungssteg von beiden Eckzähnen bewegt werden kann. Diese reingelenkige Verbindung ist nur dann gegeben, wenn die beiden Kanülen, die Ausschnitte aus einer geraden zylindrischen Röhre sind, auf einer Geraden liegen. Diese Gerade ist gegeben durch den Verbindungssteg. Wenn die Form des Körpers eine gradlinige Verbindung zuläßt, so soll man sie immer wählen, auch deswegen, weil sie als kürzeste Verbindung zwischen den beiden Pfeilern die starreste ist.

Hat man auf den Molaren rechts und links z.B. Kappen, die palatinal ziemlich weit über das Zahnfleischniveau überragen, so wird bei einem Absinken im Molarengebiet ein Kippmoment ausgeübt, auch bei geradem Verbindungssteg. Das läßt sich vermeiden, wenn die Kappen so gehalten werden, daß sie zum Zahnfleisch hin abfallen. Sie bilden mit der Platte gemeinsam ein Kugelgelenk. Wirkt die transversale Komponente im Sinne des Pfeilers P_1,

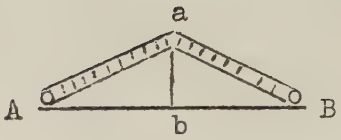


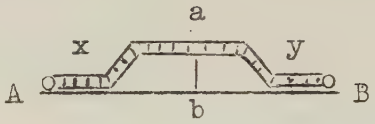
so wird der größte Teil der Kraft kompensiert durch das Aufliegen der Platte auf den dachartigen Alveolarfortsätzen. Die Kraft, die auf beide Pfeiler einwirkt, wird versuchen, sie in der durch Pfeile angegebenen Richtung wegzudrehen oder wegzukippen. Bei der einfachen Klammerbefestigung wird jeder Zahn einzeln beeinflußt. Die schädigende Wirkung wird daher eine größere sein, ebenso auch die Kippwirkung, weil der Angriffspunkt der Klammer weiter vom Drehpunkt des Zahnes wegliegt als in diesem Falle. Durch den Versteifungsbalken sind die beiden Pfeiler starr miteinander verbunden, d.h. es ist nur eine immer parallel verlaufende körperliche Bewegung der beiden Wurzeln möglich. Aus der Erfahrung ist uns jedoch bekannt, daß solche Bewegungen sehr schwer durchzuführen sind.

Die Form des Zahnbogens, insbesondere im Oberkiefer, erlaubt aber in den meisten Fällen keine gradlinige Verbindung im Frontzahngebiet, wie z.B. von Eckzahn zu Eckzahn. Der Steg würde in einem solchen Falle teils mehr, teils weniger frei über dem Gaumen verlaufen, was ja nicht zulässig ist, da dadurch die Prothese bedeutend an Volumen zunehmen müßte. Der Verbindungssteg wird dann meist in Form des Zahnbogens abgeknickt. Sobald die gradlinige Verbindung nicht mehr durchgeführt wird, ist eine gelenkige Verbindung nicht mehr möglich. Es tritt eine Hebelwirkung auf die beiden Eckzähne nach distal ein. Die schädigende Wirkung ist umso größer, je größer die Strecke des Verbindungssteges ist. Kommt der Kreisbogen über A B annähernd einer Geraden gleich, so ist praktisch die gelenkige Verbindung gegeben. Bei spitzer Kieferform aber, wo also die Strecke a b ziemlich groß ist, kann die Hebelwirkung unangenehm werden. Auch in solchen Fällen läßt sich eine gelenkige Verbindung herstellen. Die Kanülen, die medial von r und 1.o.3 dem Steg aufliegen, wer-

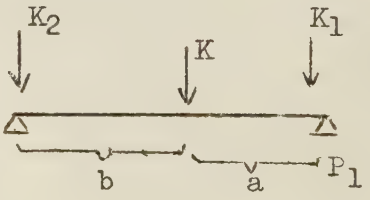


den verhältnismäßig kurz gehalten, und der Verbindungsdraht so gehalten wie in nebenstehender Abbildung. Dadurch ist eben wieder erreicht, daß das Ganze sich ziemlich als Gerade erweist. Eine reine Scharnierbewegung ist dann gegeben, wenn die Gerade durch die Eckzähne geht, also senkrecht auf der Mediansagittalen steht. Das Kippmoment nach distal ist somit ganz ausgeschaltet. Das Kippmoment nach frontal ist abhängig von der Länge der Strecke a b. Da diese im allgemeinen sehr kurz ist, spielt sie praktisch keine Rolle.





Nun nehme ich als Beispiel eine gestützte Prothese, die nur als Ersatz der beiderseitigen Molaren und Prämolaren gedacht ist. Die gelenkige Abstützung findet auf der einen Seite auf dem ersten Prämolaren und auf der anderen Seite nur auf dem zweiten Molaren statt. Belastet man diese Prothese in der Gegend des zweiten Molaren mit der Kraft K, so kann man das Ganze als einen Träger auf zwei Stützen auffassen. Diese Kraft K kann man in zwei Einzelkräfte K_1 und K_2 zerlegen, da die Auflager der Kraft K mit je der Kraft K_1 und K_2 entgegenwirken. Die größere Kraft K_1 wird den ersten Prämolaren, die kleinere Kraft K_2 den hinteren Prothesenkörper belasten. Der erste Prämolar, der der einzige



Stützpunkt auf der einen Seite ist, wird immer der Drehpunkt bleiben. Infolge seiner Versteifung auf die gegenüberliegende Seite wird er aber keine große Nachgiebigkeit zeigen und so dem Druck widerstehen können. Die horizontalen Kaudruckkomponente sind dagegen bestrebt, den auskragenden Prothesenteil nach links und rechts zu verschieben. Durch die starre Verbindung der Stützpfeiler wird auf diese ein Drehmoment ausgeübt, welches umso größer ist, je länger der auskragende Teil ist. Kipp- und Drehmomente sind aber für die Zähne schädlich. Bei der gestützten Prothese sind wir deshalb gezwungen, solche Kipp- und Drehmomente nach Möglichkeit auszuschalten. Die Mittel hierzu sind uns gegeben: 1.) in der gelenkigen Verbindung des Prothesenkörpers mit dem Stützgerüst, 2.) durch Absteifung der wirkenden Zähne untereinander und durch Verbindung mit den anderen Zähnen des Restgebisses. Schließlich käme auch eine Verlegung des Angriffpunktes der schädlichen Kipp- und Drehmomente möglichst nahe an den Rand des Alveolarfortsatzes in Frage. Die Ausschaltung des Kippmomentes wird dadurch gegeben, daß die Stützpfeiler mit dem Prothesenteil gelenkig verbunden sind. Hierdurch kann der Ersatz um eine horizontale Achse schwingen. Das Drehmoment wird verhindert durch Schwingen um eine dazu senkrecht stehende Achse. Ein solches Gelenk können wir aber in unserer Technik nicht einführen, da es viel zu großen Raum beansprucht. Macht man es dagegen klein, so wird es den Kaukräften nicht widerstehen können. Durch dieses Nichteinführen eines solchen Gelenkes war man gezwungen, nach anderen Hilfsmitteln zu greifen, von denen ich das Roachgeschiebe, den Gilmoreiter und die Deckelklammer erwähnen möchte. Bei dem Roachgeschiebe kann der vertikale Kaudruck auf den zu stützenden Zahn übertragen werden, wenn das Geschiebe oben mit einem Deckel versehen ist. Ist dies nicht der Fall, so wird die ganze vertikale Kaukraft auf den Alveolarfortsatz übertragen und wir können von einer gestützten Prothese nicht mehr reden. Im ersten Fall wird der vertikale Kaudruck auf den zu stützenden Zahn ein Kippmoment ausüben. Die Größe dieses Momentes hängt ab vom

Hebelarm, welcher gleich der Länge des kugeltragenden Teiles ist. Eine Minderung dieses Momentes wird durch Kürzung dieses Hebelarmes erzielt. Dasselbe gilt für den Hebelarm der transversalen Komponente. Das Drehmoment ist durch Anbringen des Geschiebes in Richtung des Alveolarfortsatzes ziemlich ausgeschaltet. Die sagittale Komponente wird durch die bewegliche Verbindung ebenfalls gut aufgenommen.

Der Gilmoreiter bringt einige Gefahren mit sich. Seine erste Forderung ist, daß die gelenkige Verbindung immer eine Gerade ist. Ist es nicht der Fall, so treten Kipp- und Drehmomente auf, die sich auf die stützende Wurzel übertragen. Die vertikale Kraftkomponente wird bei gerader Verbindung ohne Schaden aufgenommen, sie wird gleichmäßig auf die Stützpfeiler übertragen. Bei bogenförmiger Konstruktion treten Hebelarme auf, die die Größe haben wie die Mittelsenkrechten auf die Verbindungslinie der stützenden Wurzeln. Die transversale und sagittale Komponente üben auf die Stützzähne keinen Einfluß aus, da hier stets die gelenkige Verbindung in Erscheinung tritt.

Bei der Deckelklammer wird der vertikale Kaudruck ebenfalls gleichmäßig auf die Stützpfeiler übertragen. Wirkt die Kraft stark palatinal oder lingual, so könnte ein Kippmoment auftreten, das aber sehr gering sein wird, da die Deckelklammer sehr niedrig gehalten ist. Der Zahn kann hier als zweiarmiger Hebel aufgefaßt werden, wobei der Drehpunkt wenig unterhalb dem freien Alveolarrand liegt. Der Kraftarm, d.h. die Entfernung von der Deckelklammer bis zum Drehpunkt ist also bedeutend kleiner als der Lastarm, der die Entfernung vom Drehpunkt zur Wurzelspitze darstellt. Dies stellt die Forderung, den Teil des Kronendeckels möglichst niedrig zu gestalten. Die transversale und sagittale Komponente bringen keine schädlichen Folgen für die Prothese, da durch die federnde Bandklammer eine gute labiale gelenkige Verbindung besteht. Sie erträgt das Dreh- und Kippmoment auf Kosten der Elastizität des Materials.

In meiner Arbeit habe ich die Statik an einigen typischen Beispielen des künstlichen Ersatzes erklärt. Die Gesetze und die Ergebnisse, die sich in der statischen Betrachtung des Ersatzes ergeben haben, dürfen wir natürlich nicht für jeden Ersatz annehmen, sondern müssen jeden Fall einzeln behandeln. Es besteht deshalb eine große Zahl von Möglichkeiten, denn die Variationen ergeben sich aus den Zahlen 2 und 16, da wir mit Ober- und Unterkiefer und mit höchstens 16 Zähnen rechnen müssen. Unverkennbar ist, ja es ist eine Notwendigkeit, daß wir bei allen künstlichen Ersatzstücken sowohl den statischen als auch den physiologischen Verhältnissen Beachtung schenken müssen. Wir kommen nicht aus, wenn wir nur eine Grundlage, also nur die physikalischen Gesetze, erkennen und ausführen, nein wir müssen diese, wie es der einzelne Fall und wie es uns der Stand der rein technischen Seite erlaubt, stets innig mit der Physiologie, beziehungsweise mit der Pathologie in Verbindung treten lassen. Statik und Physiologie müssen zwei unzertrennliche Streiter sein, wobei jeder zu einem gewissen Erfolg und Recht kommen muß. Es war meine Absicht, nur dem einen meine Beachtung zu schenken. Einen Schluß können wir ziehen, daß nur durch genannte Beachtung der theoretischen Grundlagen wir in unserem Berufe einen Dauererfolg erzielen und Mißerfolge vermeiden können. Es ist unbedingt erforderlich für alle unsere Arbeiten, soweit wie möglich die physikalischen und biologischen Gesetze kennen zu lernen, ehe wir an die Ausführung derselben herantreten.

.-.-.-.-.-.-.-.

Literatur.

1. Schw.V.f.Z. 1906, Bryan, Transversalbügel im Unterkiefer.
2. D.Zahnheilkunde in Vorträgen, Mechanik des Unterkiefers und der zahnärztlichen Prothese von Dr.E.Eltner, H.20,1911.
3. Z.Orth. 1907 H.6, Betrachtungen über die mechanische Wirkung des Kiefers und die praktische Anwendung in der Zahnheilkunde, von Dr. C.Godon.
4. Statik in der Zahnheilkunde von Dr.ing H.Fricke u. Dr. H.Jugel, V.f.Z. 1927 H.1.
5. Die Lehre der Mechanik und Statik, Lehrbuch der Physik von Grimsehl.
6. Technische Mechanik, Dr.ing. Aug.Föppl.
7. Beitrag zur systematischen Prothetik von Dr. Otto Riechelmann.
8. Der funktionelle Bau des menschlichen Unterkieferapparates, von Dr. Rudolf Winkler, Deutsche M. in Vorträgen, 1922 H. 55.
9. Der Kaudruck, von Dr. Joachim Tholuk, D.M. in Vorträgen, H. 59.
10. Ist der Unterkiefer ein einarmiger oder zweiarmiger Hebel, von Dr. Woldemar Richter, D.M.f.Z., 1921, H.17.
11. Die Wirkung mechanischer Energie auf die Zähne, von Dr. Wissner, Z.Orth. 1908 H. 8,9,10.
12. Über die Aufgaben der zahnärztlichen Prothetik und die Versuche zu ihrer Lösung, von Dr. H.Schröder, Berlin.
13. Beitrag zur Konstruktion der Kronen und Brückenarbeiten, von Dr.phil.u.med.dent. Adolf Klughardt.
14. Die Kräfte auf und in dem Kiefer beim Kauakt, von Privatdozent Dr. R.Winkler, Frankfurt.
15. Physikalische Grundlagen der zahnärztlichen Brücken- und Plattenprothese, von Paul Wustrow.
16. Handbuch der Zahnheilkunde, von Partsch, Bruhns u. Kantorowicz, Band 3 Prothetik.

17. Entlastungsbügel für Brückenarbeiten im Oberkiefer und Unterkiefer, sowie Brückenarbeiten im allgemeinen unter Gesichtspunkt der Druckwirkungen im Munde, von Dr. Otto Riechelmann.
18. Die gestützte Prothese, von Dr. E.Kiefer, Z.R. 1927 H. 10.
19. Partieller Zahnersatz, von Dr. B.Weigele.
20. Klinik der zahnärztlichen Prothese, von Dr. Karl Rumpel, Berlin, V.f.Z. 1927.
21. Physikalische Studie über das Festhalten der Stiftzähne, von E.Mühlreiter, D.V.f.Z. 1867.
22. Studie über die mechanischen und dynamischen Bedingungen, die bei der Herstellung von Stiftzähnen zu betrachten sind. Ref. von Dr. Ovice.
23. Stiftzahn in Theorie und Praxis, von Privatdozent Dr.med.dent. Oehrlein, Riga.
24. Weiterer Beitrag zur planmäßigen Prothetik, von Dr. B.Weigele, Z.R. 1922 N. 45.
25. Der Stiftzahn unter Berücksichtigung der Physiologie des normalen und des pathologischen Gebisses, von Dr. Kurt Julitz.

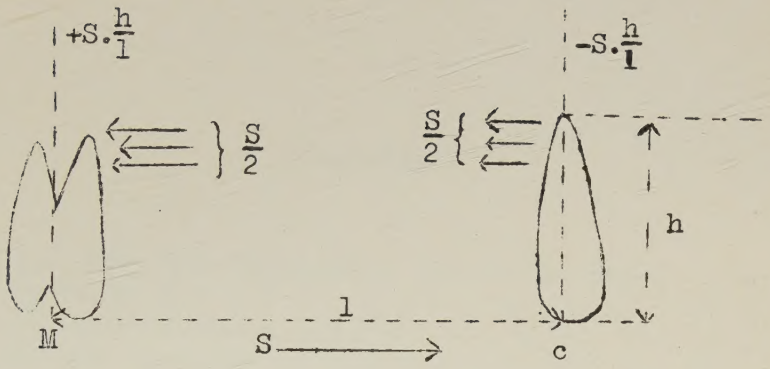


Fig. 1.

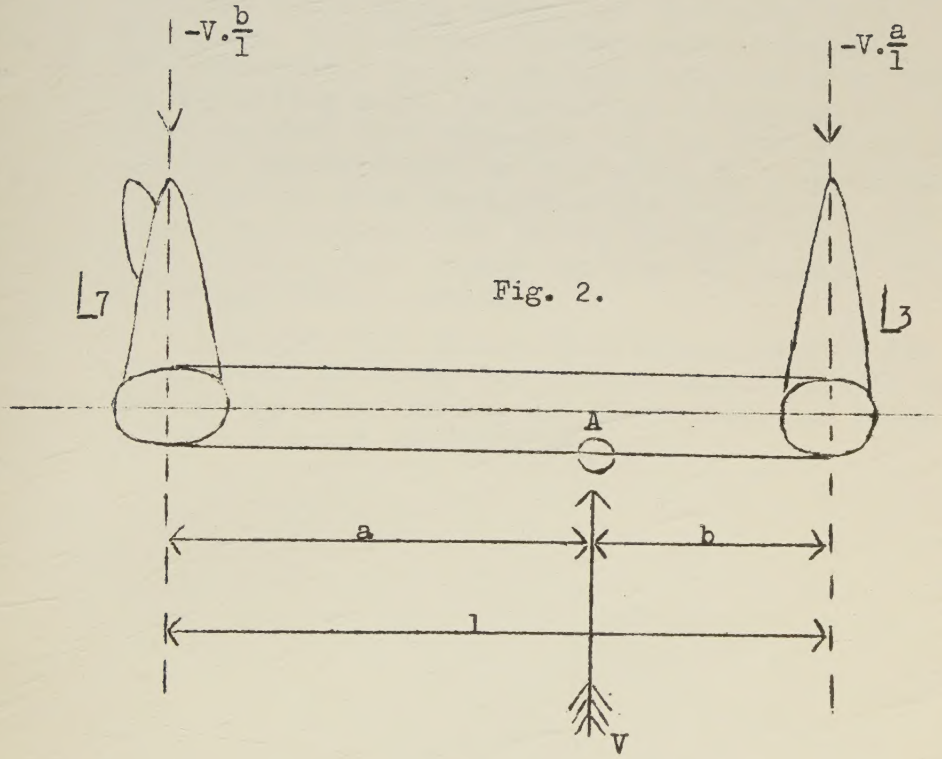


Fig. 2.

Lebenslauf.

Als Sohn des Ingenieurs Julius Bilfinger wurde ich, Hermann B i l f i n g e r , am 28.Mai 1905 zu Ludwigshafen am Rhein geboren. Den ersten Unterricht erhielt ich daselbst in der Volksschule. Nach dem vierten Schuljahr trat ich dann in die Oberrealschule über, welche ich zu Ostern 1926 mit der Reife absolvierte. Hiernach widmete ich mich ab Sommersemester 1926 dem Studium der Zahnheilkunde auf der Universität Heidelberg, welche ich bis heute nicht wechselte. Nach meinem dritten zahnmedizinischen Studiensemester machte ich Ende Sommersemester 1927 in Heidelberg meine zahnärztliche Vorprüfung mit Erfolg. Im Juli 1929 erbrachte ich den Lateinnachweis, der dem Kenntnisstand am Ende eines Schuljahres der Untersekunda eines Realgymnasiums entspricht. Nach dem Sommersemester 1929 machte ich mein zahnärztliches Staatsexamen, worauf ich dann am 2.Januar 1930 meine Approbation erhielt.

Zur Zeit bin ich als Volontärassistent in der technischen Abteilung der Universitätszahnklinik zu Heidelberg unter Leitung von Herrn Prof. Dr. Georg B l e s s i n g beschäftigt.